

岩盤切削を中心とした最近のトレンチャ技術

大山 宏

パイプライン敷設プロジェクトの主役であるトレンチャは、いまだ、我が国に馴染みが少ない。1995年にBAUMA '95 建設機械展視察団により岩盤掘削用大型トレンチャが紹介された。以後、幾つかの山岳トンネル中央排水溝掘削に採用しているが試験的な域を出ず、掘削総延長は20~30 kmを超えていない。トレンチャは単に溝を掘る機械と思われがちであるが、造成地とか道路開削用の広幅掘削機（ロードマイナ）、ケーブル埋設用の細溝掘削機（ロックソウ）、泥土、軟岩掘削用の回転バケット掘削機（ホイールトレンチャ）等各種ある。トレンチャと言うと畑とか野外の灌漑用溝掘機を想像しがちであるが、ここでは一軸圧縮強度1,200~1,500 kgf/cm² くらいまでの硬岩を対象とした最近のトレンチャ技術について紹介する。

キーワード：トレンチャ、岩盤機械掘削、溝掘削、ガス石油パイプライン、トンネル中央排水溝、工期短縮、自動、省力、安全、コスト削減

1. まえがき

連続溝掘削機トレンチャは単機能、単目的機械である。バックホウのように多機能、多目的機械ではない。それ故に、バックホウに比べ対象作業範囲は限定され機械費等、資金回収の機会が少ない。一方、作業は熟練者の要らない正確、無駄の無い単純作業となる。ここでは、それぞれ甲乙勘案したうえで普及を目指し、最近のトレンチャ技術を紹介する。

2. トレンチャの種類とメリット

(1) トレンチャの種類

用途により大別すると3種類ある。カッタ部分を組替えて3種類のトレンチャに使い分け出来る（図-1、写真-1）。亜種としてホイールトレンチャ、チャンネルトレンチャ（運河掘削）がある。

(a) 深溝用トレンチャ（チェーン式）

チェンソウ型のカッタを組み込み、機種により異なるが溝幅0.25~2.4 m、溝深さ0.5~3.0~10 m位までの深溝掘削を行う。ガス石油パイプライン、トンネル

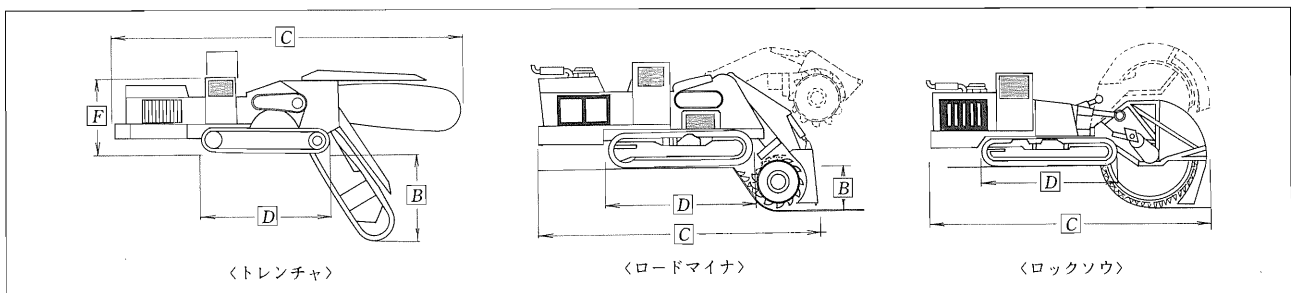


図-1 トレンチャの種類

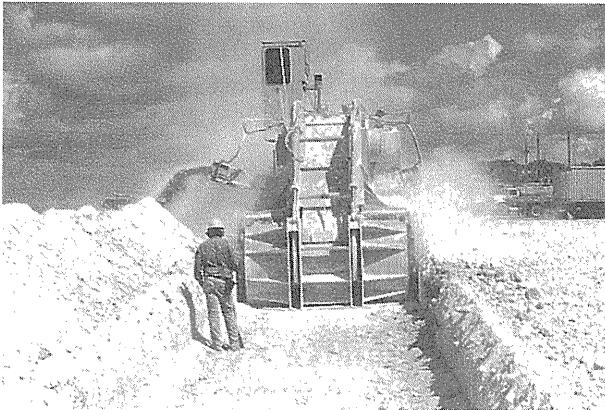


写真-1 トレンチャ

中央排水溝、上下水道用溝掘削等に用いられる（図—1）。

（b） 広幅用，ロードマイナ（ドラム式）

幅3~4m，径1~4mφのドラムカッタを組込み，広幅掘削を行う。カッタはクローラの外側まで切削するので垂直の壁を残した掘下げができる（写真—2）。



写真—2 ロードマイナ

宅地造成，道路盤掘削，更に，トンネル下半掘削等に応用が考えられる。切削面の亀裂，緩みの発生が無く，平滑に成るので仕上げを省略して舗装工事が行える。岩盤のみならず軟土掘削に活用しても能率向上が期待できる。

（c） 細溝用，ロックソウ（円盤型）

ケーブル埋設溝等，幅0.2~0.3m，深さ0.8~1.4mまでの比較的狭い溝の掘削を行う（図—1，写真—3）。

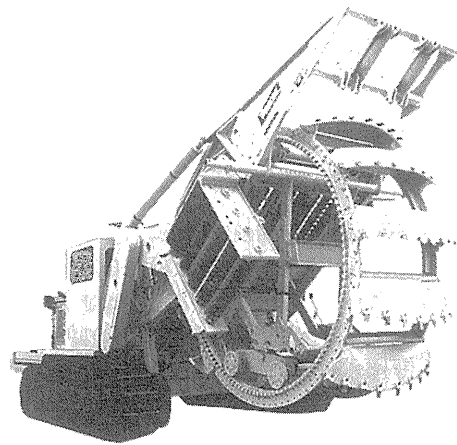


写真—3 ロックソウ

（d） ホイールトレンチャ（回転バケット型）

回転する複数バケットにより軟弱地盤，軟岩層の溝掘削を行う。エンジン出力300~750hp，幅1~2m，最大深さ2.4~2.9mの溝を掘削する（写真—4）。

（e） キャナルトレンチャ（運河掘削用）



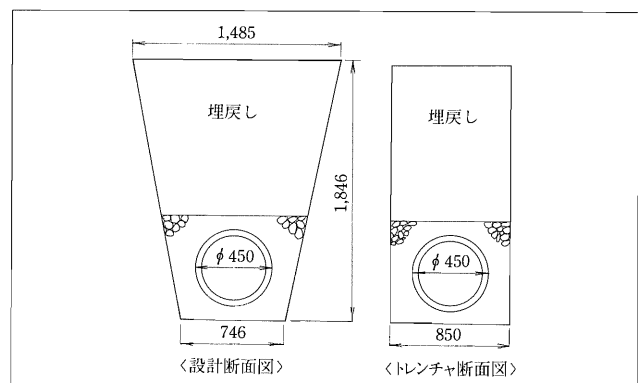
写真—4 ホイールトレンチャ

精度の良い逆台形型の小型運河掘削を行う。

（2） トレンチャ工法のメリット

トレンチャ工法には以下のような利点が挙げられる。

① 余掘りのない，正確な断面の掘削を行う。埋戻し材が大幅に節減できる（図—2）。



図—2 トンネル中央排水溝掘削断面の比較

- ② 切削されたずりは粒度が揃っているので埋戻し材，路盤材に再利用できる。
- ③ 進行が早く，供用時期の早期繰上げ，現場仮設期間の短縮ができる。
- ④ レーザにより切削深さ，勾配，方向の自動制御を行う。ロードコントローラにより岩盤強度に応じたカッタ速度，切削力，クローラ速度の自動制御を行う。自動操作を選択すると，ほぼ，無人に近い運転が出来る。操作が簡単で，熟練工の必要が無い。
- ⑤ 切削面が平滑なので路盤の仕上げ工が節約できる。
- ⑥ 発破，ブレーカ工法のように溝の側壁を痛め，緩める事が無い。再舗装，供用後の路盤の緩み変形が無い。

(3) トレンチャとバックホウの動作の比較

バックホウの動作は、

- ① バケツを溝内に降下する、
- ② バケツを上向に回転する、
- ③ バケツを土砂に押しつけ掘削する、
- ④ バケツを溝から引上げる、
- ⑤ バケツを溝からほぼ90°側方に旋回する、
- ⑥ バケツを下向きに回転して土砂を捨てる、
- ⑦ バケツを溝の掘削位置に戻す、
- ⑧ 以下、一連の動作を繰返す。

バックホウは7つの断続的な作業となり、熟練と、正確、細心な操作が求められる。

一方、トレンチャは切削とずり排出を同時に連続して行う。余分な動きと時間のロスが無い。自動運転により熟練工の必要が無い単純作業となる。

3. トレンチャの駆動方式と切削性能

(1) カッタの駆動方式

カッタの駆動方式に油圧式と機械式の2種類がある。

(a) 油圧駆動式 (hydraulic drive)

カッタはカッタ軸に直結した油圧モータにより回転する。構造簡単で主に土砂、軟岩等の中小型機に採用される。油圧作動油の汚染、油温上昇等により効率が低下する。カッタ速度が速くピックの消耗が多い。

(b) 機械駆動式 (mechanical drive)

動力はエンジンに直結したトルクコンバータ付き多段変速トランスミッション、ディファレンシャルギヤを経て、減速されてカッタ軸に伝達される。機械式は岩盤掘削用の中大型機に採用され、ピックの消耗、故障が少なく頑丈である。図-3に機械式の動力伝達方式を示す。

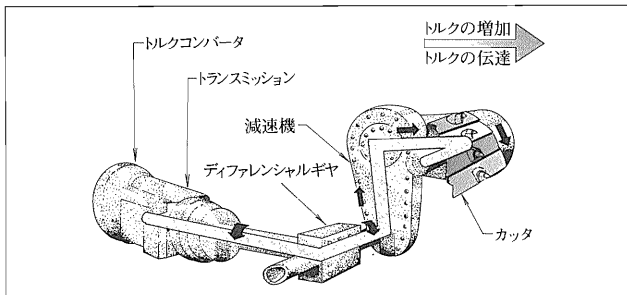


図-3 機械式のパワー伝達方式

(2) 駆動方式による切削性能の比較

(a) 切削力の比較

同じ型式のエンジンを採用した油圧式と機械式の性能比較を表-1に示す。機械式は油圧式の約2倍の切

表-1 駆動方式による切削力の比較

製造者		Trencor Inc. (USA)			
機種		1060		1260 HD	
駆動方式		油圧式		機械式	
エンジン		型式/馬力=CAT 3406 B/402 hp			
カッタ速度と切削力	低速	—	—	76	18.3
	二速	170	6.2	138	10.1
	三速	—	—	202	7.0
	高速	270	9.9	279	5.0

削力を出す。

機械式は低速時に、油圧式は高速時に最大切削力になる。硬岩切削には破砕力が強くピック消費量の少ない低速回転が良い。機械式は回転速度が遅く硬岩向きである。

(b) 切削能力の比較

表-2にトンネル中央排水溝掘削データを比較して示す。油圧式、機械式両方式を比べると掘削能率に大差は無い。油圧式は大型機械を採用して能率差を補足出来るが(機械式300hp級と油圧式400hp級とほぼ同じ能率)、ピック消費量は補足出来ない。

機械式はピック消費量が少なく経済的である。機械式Z現場は機械式W, X, Y現場に比べ掘削能率、ピック消費量、それぞれに大差が有り優れている。これは岩種の影響も多少有るが切削力の影響の方が大きい。なお、能率は岩種により異なるので表-2の数字は能率の傾向を示唆する一つの指数として扱って頂きたい。

表-2 駆動方式による掘削能率の比較

	現場	総出力 (hp)	掘削能率 (m³/hr)	ピック消費量 (本/m³)	岩石強度 (MPa)
油圧駆動	A	402	14	1.1	55~110
	B	450	10	1.0	
	C	450	7	4.8	50~130
機械駆動	W	300	16	0.2	50~75
	X	300	9	0.2	(V _p ≈ 5.1)
	Y	300	5	0.6	55~150
	Z	425	24	0.08	30~120

(3) 切削反力と切削負荷の制御

(a) 切削反力

カッタは切上がる方向に、クローラは切削反力に逆らう方向に回転してカッタを岩盤に喰込ますように移動する。機体重量と牽引力が反力となり、カッタは岩盤に押付けられ、ピックの逃げや遊びがない。十分な切削反力に支えられた強引な掘削を行うことができる(図-4)。

(b) 切削負荷制御

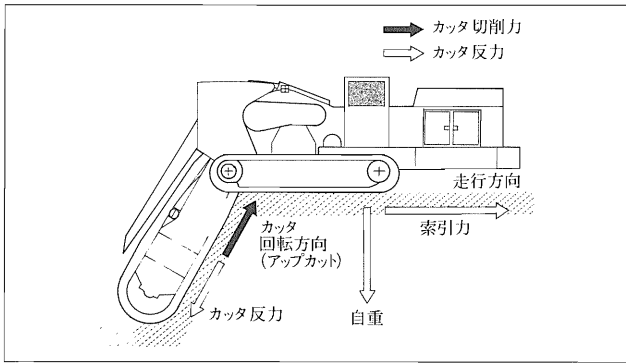


図-4 切削反力の取り方

機械式は切削効率を最大限に発揮する目的で、負荷制御装置、ロードコントローラを組込んでいる。ロードコントローラは、中断無く変化する切削負荷に応じ、クローラ速度とカット速度の組み合わせが常に最適最大切削能力になるように自動制御する。又、エンジンストールを防ぐと共に機体がガタガタ揺れる (jolting) のを避け、移動を滑らかにする。

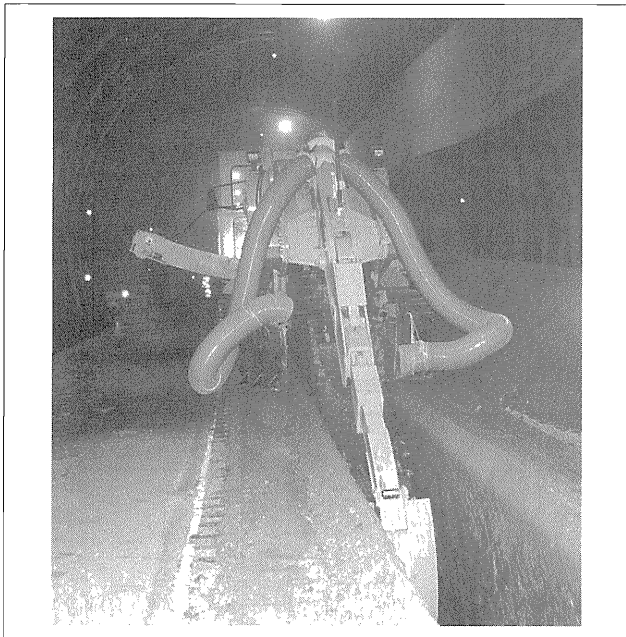


写真-5 トンネル中央排水溝掘削状況

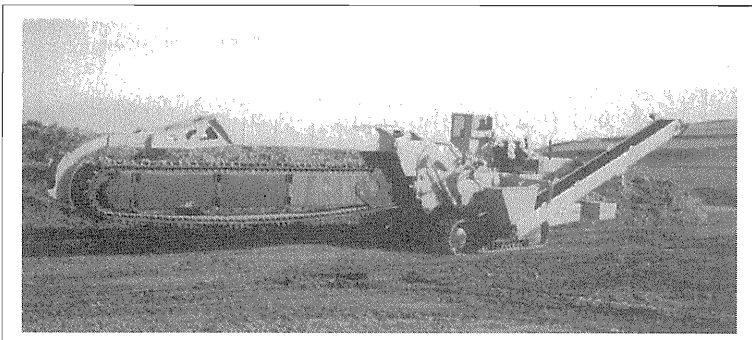


写真-6 深溝用トレンチャ

4. 実績例

(1) トレンチャ (チェーン式)

(a) トンネル中央排水溝掘削

一般に、本坑貫通後一括してトレンチャによる排水溝掘削を行う。並行して、管埋設・埋戻し作業を実施する。工事用車両の通行を妨げない。二次巻等、他作業と同時作業ができる。集塵機と組み合わせ、切削中でも切羽の奥まで見通せるクリーントンネルを実現する。月単位の従来工法に比べ週単位の工期で終了する (図-2, 写真-5)。

(b) 深溝掘削

工場或いは団地敷地の表面を流れる雨水による河川の汚染防止目的で敷地と河川の境界に6~10m深さの止水壁を作り、多孔管を埋設し集水浄化処理を行う。その他、廃棄物処理場周辺の汚水流出防止壁構築等の深溝掘削に採用されている (写真-6)。

(c) 大型パイプライン掘削例

Saudi Arabia の Hawiyah ガスパイプライン、全長900kmの第一期工事が1998年12月にスタートした。

第一期工事、全長270kmはTrencor社製、世界最大ロックトレンチャ1860HD型を2台使って実施した。埋設パイプ径と距離は、1.4mφ×153km, 0.9mφ×15km, 1.2mφ×100km, 岩石は硬質塊状石灰岩、パイプ埋設溝の掘削寸法は幅2.0m×深さ2.4~2.9m。掘削能率は平均700m/日、ピック消費量平均0.04本/m³であった (The Excavator, vol. 1,

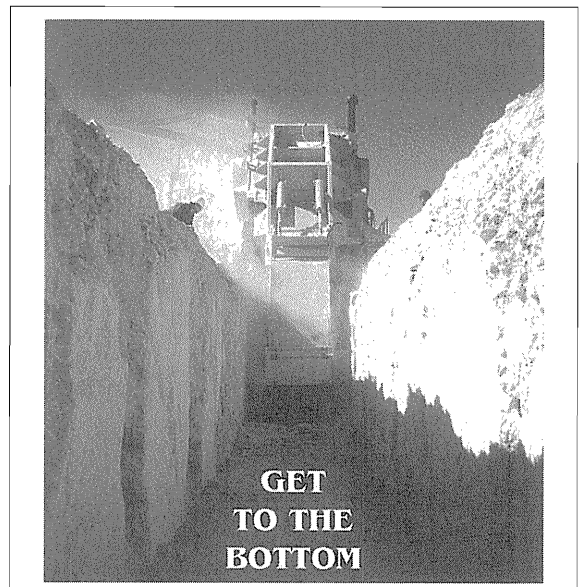


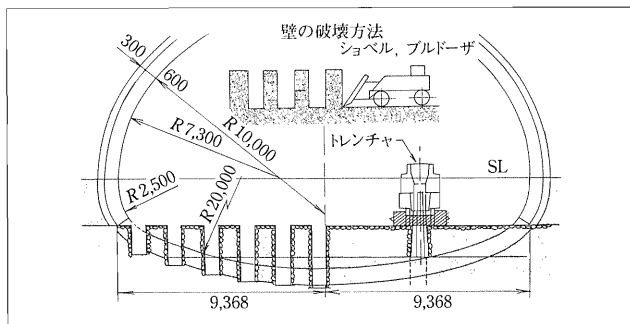
写真-7 1860 HD によるパイプライン掘削

No.1, 1999, 写真—7)。

1860 HD 型の標準仕様；エンジン出力 1,500 hp, 切削寸法幅 0.9~2.5 m×深さ 3.0~11.0 m, 重量 200 ton。

(d) セクター方式による掘削方法

造成工事等幅の広い区域の掘下げ方法である。残された中壁は、ショベル等で破壊する。我が国では、転流坑の底盤掘下げ（転流坑に 1.3 mφ パイプ埋設のため）と道路トンネル DⅢa 断面のインバート掘削（起点、終点側入り口、発破不可）等、二、三例がある（図—5）。



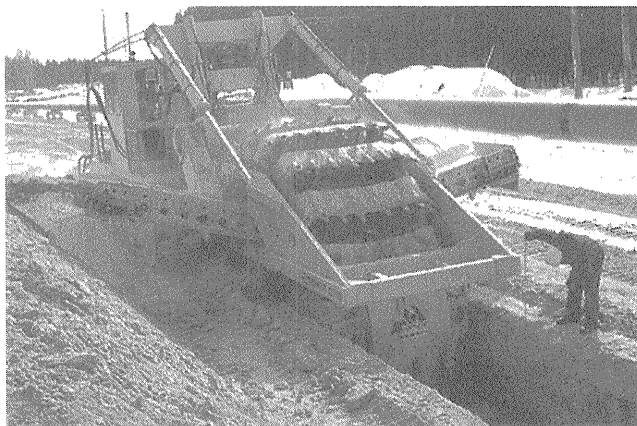
図—5 セクタ方式応用案（トンネル下半掘削）

(e) ホイールトレンチャによる凍結土掘削例

ハバロフスク、サハリン経由で我が国へという、東シベリアパイプラインプロジェクトに関する記事が紙上に紹介されている。トレンチャは北極圏の永久凍土、凍結ツンドラ地帯でも活躍している。極寒地の一例を紹介する。

カナダ、北緯 60° 付近で 440 km のパイプライン工事が実施され、その内の 75% (300 km) をトレンチャ 4 台で施工した。工事は、野外温度 -40°C, 地面が凍結を開始し車輛が活動出来るようになる 11 月から実施された。掘削溝寸法は幅 1.04 m×深さ 1.6 m, 地表からの凍結深さは約 0.76 m。930 HD 型ホイールトレンチャによる能率は凍結深さにより左右されたが、通常 2 km/10 hr, 凍結が進んでいるか岩石が現れた所では 800 m/10 hr であった。極寒のためトレンチャ

は 1 日 24 時間、停止しないで作業が続けられた（写真—8）。



写真—8 ホイールトレンチャ

5. あとがき

トレンチャは単機能、単目的機械であり、バックホウのように多機能、多目的機械ではない。トレンチャは何故我が国に馴染みが少ないのか？ 紙面の都合で深く考察出来なかったが普及に向けた検討項目、即ち、

- ・急速掘削に見合う十分な掘削距離,
- ・地下埋設物,
- ・各機種の機能、能力の正しい紹介と理解,
- ・新工法の創造,
- ・新用途の確立,
- ・レンタル機と積算基準等の環境整備,

等々を列挙できる。詳細は次の機会に譲りたい。関係各位の一層のご理解をお願いしたい。

JCMA

【筆者紹介】

大山 宏 (おおやま ひろし)
オオヤマ & Co.
代表

